

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-244068

(43)Date of publication of application : 08.09.2000

(51)Int.Cl.

**H01S 5/323**

(21)Application number : 11-180344

(71)Applicant : PIONEER ELECTRONIC CORP

(22)Date of filing : 25.06.1999

(72)Inventor : OTA HIROYUKI  
CHIKUMA KIYOBUMI

(30)Priority

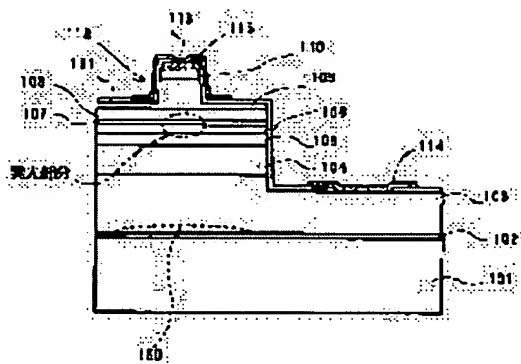
Priority number : 10364161      Priority date : 22.12.1998      Priority country : JP

## (54) NITRIDE SEMICONDUCTOR LASER AND FABRICATION THEREOF

**(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain a high quality reflection mirror surface with high reproducibility in laser structure by forming a decomposition region of nitride semiconductor on the interface of a substrate and a crystal layer at a part intersecting the cleavage surface for resonance of a laminated crystal layer.

**SOLUTION:** This nitride semiconductor laser comprises a plurality of crystal layers 102 to 110 of group 3 nitride semiconductor  $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) laminated sequentially on a cleavage or breakage substrate 101. A decomposed product region 150 of nitride semiconductor is provided on the interface of the sapphire substrate 101 and the crystal layer at a part intersecting the cleavage surface for resonance of the laminated crystal layers 102 to 110. Since the crystal bond between the sapphire substrate and GaN crystal is broken locally in the decomposed product region 150 of nitride semiconductor formed by laser radiation, the GaN is cut along the cleavage surface of the GaN crystal itself in the vicinity of a reflector in the process for forming the resonance surface of element resulting in a high quality reflection mirror surface with high reproducibility.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 23.04.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 01.03.2006

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-244068

(P2000-244068A)

(43) 公開日 平成12年9月8日 (2000.9.8)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーム (参考)
H 0 1 S 5/323		H 0 1 S 3/18	6 7 3 5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 10 頁)

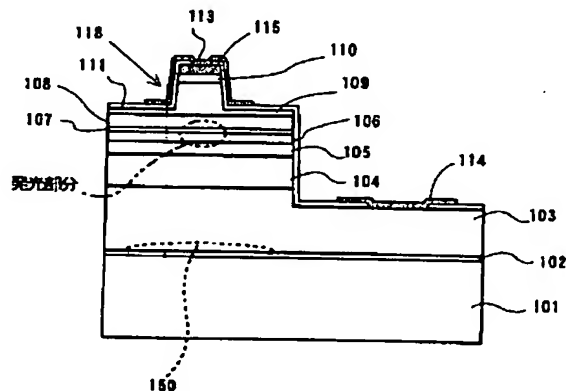
(21) 出願番号	特願平11-180344	(71) 出願人	000005016 バイオニア株式会社 東京都目黒区目黒1丁目4番1号
(22) 出願日	平成11年6月25日 (1999.6.25)	(72) 発明者	太田 啓之 埼玉県鶴ヶ島市富士見6丁目1番1号 バ イオニア株式会社総合研究所内
(31) 優先権主張番号	特願平10-364161	(72) 発明者	竹間 清文 埼玉県鶴ヶ島市富士見6丁目1番1号 バ イオニア株式会社総合研究所内
(32) 優先日	平成10年12月22日 (1998.12.22)	(74) 代理人	100079119 弁理士 藤村 元彦
(33) 優先権主張国	日本 (J P)	Fターム (参考)	5F073 AA51 AA55 CA07 CA17 CB05 CB07 DA05 DA32 DA35

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体レーザ及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 レーザ構造において高品質な反射鏡面を再現性良く得られる3族窒化物半導体レーザ製造方法を提供する。

【解決手段】 3族窒化物半導体  $(Al_xGa_{1-x})_{1-y}In_yN$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) からなる結晶層の複数層を、劈開性又は裂開性の基板上に、順に積層してなる窒化物半導体レーザの製造方法において、劈開性又は裂開性の基板上に結晶層の複数層を形成する結晶層形成工程と、基板及び結晶層間の界面に向け、基板側から光ビームを照射して、窒化物半導体の分解物領域を形成する工程と、分解物領域を交差する直線に沿って基板を劈開又は裂開し、積層した結晶層の共振用劈開面を形成する工程と、を含む。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 3族窒化物半導体 ( $Al_xGa_{1-x}$ )<sub>1-y</sub>In<sub>y</sub>N ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) からなる結晶層の複数を、劈開性又は裂開性の基板上に、順に積層してなる窒化物半導体レーザであって、積層した結晶層の共振用劈開面と交差する部分の前記基板及び結晶層間の界面において、前記窒化物半導体の分解物領域を有することを特徴とする窒化物半導体レーザ。

【請求項2】 前記窒化物半導体の分解物領域は、前記基板側から前記界面に照射された光ビームによって形成されることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体レーザ。

【請求項3】 前記窒化物半導体の劈開面の法線方向に伸長する導波路を有することを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体レーザ。

【請求項4】 前記基板がサファイアからなることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体レーザ。

【請求項5】 3族窒化物半導体 ( $Al_xGa_{1-x}$ )<sub>1-y</sub>In<sub>y</sub>N ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) からなる結晶層の複数を、劈開性又は裂開性の基板上に、順に積層してなる窒化物半導体レーザの製造方法であって、劈開性又は裂開性の基板上に結晶層の複数を形成する結晶層形成工程と、前記基板及び結晶層間の界面に向け、前記基板側から光ビームを照射して、窒化物半導体の分解物領域を形成する工程と、前記分解物領域を交差する直線に沿って前記基板を劈開又は裂開し、積層した結晶層の共振用劈開面を形成する工程と、を含むことを特徴とする製造方法。

【請求項6】 前記光ビームの波長は、前記基板を透過しかつ前記界面近傍の結晶層に吸収される波長から選択されることを特徴とする請求項5記載の製造方法。

【請求項7】 前記結晶層形成工程は前記窒化物半導体の形成されるべき劈開面の法線方向に伸長する導波路を形成する工程を含むことを特徴とする請求項5記載の製造方法。

【請求項8】 前記結晶層の形成が有機金属化学気相成長法で行なわれていることを特徴とする請求項5～7のいずれか1記載の製造方法。

【請求項9】 前記共振用劈開面を形成する工程において、光ビームを前記基板の表面に集光せしめ前記直線上に位置する溝を前記基板の表面に形成することを特徴とする請求項5～8のいずれか1記載の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、3族窒化物半導体素子（以下、単に素子とも記述する）に関し、特に、同材料系を用いた半導体レーザ素子の作製方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 レーザ素子を動作させるには、光学的共

振器を形成するための一対の反射鏡が必要である。GaAs等従来の半導体結晶材料を用いて半導体レーザ素子（ファブリペロ型）を作製する場合、こうした反射面はGaAs結晶基板の劈開により形成されてきた。

【0003】 3族窒化物半導体素子の場合、基板に用いるべき窒化物バルク結晶が製造されていないため、サファイアやSiCといった別種の基板上に窒化物結晶膜をエピタキシャル成長させることによって素子を作製せざるを得ない。上記のSiCは価格が高い、熱膨張係数差の関係で窒化物に割れが入りやすいなどの理由から基板として余り用いられず、主としてサファイアが基板として用いられている。サファイア上への窒化物のエピタキシャル成長に関しては、サファイアのC面すなわち(0001)面及びA面すなわち

【0004】

【外1】

(11 $\overline{2}$ 0)面

【0005】 【以下、(11 $\overline{2}$ 0)面と記載する】 上で良好な単結晶膜が得られている。従来から半導体レーザ等に用いられているGaAs等と比較してサファイアは極めて割れ難いため、上記の劈開による方法を選び、反応性イオンエッチング(RIE)等のエッチングによって反射面を形成することも行なわれている。従って、サファイア基板上の窒化物半導体レーザの反射鏡面作成方法としては、今のところ、反応性イオンエッチング(RIE)等のドライエッチングにより、反射鏡面を得る方法が主流である。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上記の反応性イオンエッチング(RIE)を用いる反射鏡面形成方法には、出射光の遠視野像が多スポットになってしまう欠点がある。レーザ素子の多スポット発光は、反応性イオンエッチング(RIE)等のドライエッチングを用いてもサファイアを有効にエッチングできないことに起因している。エッチングによってレーザ構造1の反射鏡面2を形成して作製したレーザ素子の断面を図1に示すが、図中に(A)で示した部分のサファイア基板3（エッチングされずに残った部分）に射出光が反射し、この反射光と主ビームが干渉し、遠視野がマルチスポットになってしまうのである。この遠視野像のマルチスポット化は、光ディスクの読取り光源としては致命的であるので、このままでは全く実用にならない。

【0007】 GaNレーザは、当初反応性イオンエッチングによるエッチ・ミラーを用いて作製されていたが、上述した遠視野のマルチ化等の点から劈開ミラーを形成した量産型GaNレーザが検討されている。当然サファイア上では量産的に上手く劈開ができない。そこで、以下のような方法を用いている。すなわち、サファイア上にMOCVDで2 $\mu$ m程度のGaN膜を形成し一旦反応

炉から出す工程、このGa<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>膜の上にSiO<sub>2</sub>膜を形成し、ストライプ状に窓開けを行なう工程、再びMOCVD装置に入れ、10μm程度成長させて、平坦膜を得る工程、こうして得られたウエハをHVPEに装填し、Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>膜を200μm程度積層する工程、得られたウエハのサファイア基板裏面を研磨し、サファイア部分を除去する工程、得られたGa<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>基板(80μm程度)をMOCVD装置にいれレーザ構造のエピタキシャル成長を行なう工程、を含む方法である。こうして得られたウエハは、従来のGaAs系レーザのウエハと良く似ているため、各種加工、電極形成を得た後、GaAs結晶を劈開し、レーザ素子を作製することができる。

【0008】しかしながら、上記から分かるように工程が多く、複雑で、歩留まりが極めて悪く、量産的でない。そこで、本発明では、レーザ構造において高品質な反射鏡面を再現性良く得られる3族窒化物半導体レーザ製造方法を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明の窒化物半導体レーザは、3族窒化物半導体(A<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>)<sub>1-y</sub>In<sub>y</sub>N(0≤x≤1, 0≤y≤1)からなる結晶層の複数を、劈開性又は裂開性の基板上に、順に積層してなる窒化物半導体レーザであって、積層した結晶層の共振用劈開面と交差する部分の前記基板及び結晶層間の界面において、前記窒化物半導体の分解物領域を有することを特徴とする。

【0010】本発明による窒化物半導体レーザにおいては、前記窒化物半導体の分解物領域は、前記基板側から前記界面に照射された光ビームによって形成されることを特徴とする。本発明による窒化物半導体レーザにおいては、前記窒化物半導体の劈開面の法線方向に伸長する導波路を有することを特徴とする。

【0011】本発明による窒化物半導体レーザにおいては、前記基板がサファイアからなることを特徴とする。本発明による、3族窒化物半導体(A<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>)<sub>1-y</sub>In<sub>y</sub>N(0≤x≤1, 0≤y≤1)からなる結晶層の複数を、劈開性又は裂開性の基板上に、順に積層してなる窒化物半導体レーザの製造方法においては、劈開性又は裂開性の基板上に結晶層の複数を形成する結晶層形成工程と、前記基板及び結晶層間の界面に向け、前記基板側から光ビームを照射して、窒化物半導体の分解物領域を形成する工程と、前記分解物領域を交差する直線に沿って前記基板を劈開又は裂開し、積層した結晶層の共振用劈開面を形成する工程と、を含むことを特徴とする。

【0012】本発明による窒化物半導体レーザ製造方法においては、前記光ビームの波長は、前記基板を透過し、かつ前記界面近傍の結晶層に吸収される波長から選択されることを特徴とする。本発明による窒化物半導体レーザ製造方法においては、前記結晶層形成工程は前記窒化物半導体の形成されるべき劈開面の法線方向に伸長する

導波路を形成する工程を含むことを特徴とする。

【0013】本発明による窒化物半導体レーザ製造方法においては、前記結晶層の形成が有機金属化学気相成長法で行なわれていることを特徴とする。本発明による窒化物半導体レーザ製造方法においては、前記共振用劈開面を形成する工程において、光ビームを前記基板の表面に集光せしめ前記直線上に位置する溝を前記基板の表面に形成することを特徴とする。

【0014】本発明によれば、レーザ素子の反射鏡面近傍の例えばサファイア基板とGa<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>結晶間の結晶結合を局部的に解き、これにより、反射鏡近傍部分のGa<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>結晶の劈開面そのものに沿って割れるようにし、これにより、高品質な反射鏡面を再現性良く得ることができる。

【0015】

【発明の実施の形態】以下に、本発明による実施例の3族窒化物半導体レーザについて実施例を図面を用いて説明する。サファイアには、SiやGaAsなどのような明瞭な劈開面は存在しないが、C面に関しては

【0016】

【外2】

(1 $\overline{1}$ 00)面

【0017】【以下、(1 $\overline{1}$ 00)面と記載する】に沿って一応割ることができ、A面に関しては

【0018】

【外3】

(1 $\overline{1}$ 02)面

【0019】【以下、(1 $\overline{1}$ 02)面と記載する】すなわちR面で通常の結晶の劈開にかなり近い状態で良好に裂開することができる。サファイア基板上の窒化物半導体レーザの反射鏡面作成方法としては、第1に、サファイアC面上に成長し、サファイアの(1 $\overline{1}$ 00)面に沿って割る方法や、第2に、サファイアA面上に成長し、サファイアの(1 $\overline{1}$ 02)面に沿って割る方法が考えられる。

【0020】上記第1のサファイアC面上成長による反射鏡面作成方法に関しては、サファイア基板の裏面を削って、薄くしないと割れないことや、再現性よく裂開ができないことが問題であり、これらはサファイア(1 $\overline{1}$ 00)面が裂開面ではないことに起因している。サファイアは極めて結晶が硬いため、薄くしないとケガキ線に沿って割ることができず、レーザ素子として実用になる程度の劈開面を得ようとすると、サファイア基板の厚さを100μm程度まで薄くする必要がある。既にデバイス構造を表面に作り込んだウエハの裏面を研磨していくと、サファイアと窒化物の熱膨張係数差や研磨に伴う残留応力でウエハに反りや歪みが生ずる。これらのため、デバイスウエハを裏面研磨すると研磨作業中にウエハが割れてしまうトラブルが極めて生じやすく、量産上極めて不利である。

【0021】また、サファイアC面上に成長した窒化物（代表的2元化合物はGa<sub>2</sub>Nであり、以下Ga<sub>2</sub>Nと記す）の、結晶方位は基板であるサファイアに対して30度回転しており、基板であるサファイアを（1-100）面で割ると、その上のGa<sub>2</sub>Nとしては（11-20）面で割ることになる。Ga<sub>2</sub>N結晶の劈開面は（1-100）面であるが、Ga<sub>2</sub>N結晶の対称性のため、（11-20）面でも一応劈開することができ、正確に（11-20）面に沿った方向に割れが入っていけば、極めて良好な破断面が得られる。

【0022】しかるに、サファイアも（1-100）面は裂開面でないため、ややずれた角度でケガキ線を入れても割ることができる。この場合、Ga<sub>2</sub>Nは（11-20）面からずれた方向に割れることになるので、破断面にはその劈開面であるGa<sub>2</sub>N（1-100）面が階段状に現れることとなり、反射率の低下や出射光の波面の乱れを引き起こし、レーザ用の反射面としての品質が劣化する。

【0023】一方、上記第2のサファイアA面上の成長による反射鏡面作成方法に関しては、Ga<sub>2</sub>Nの破断面の品質が十分でないことが問題である。サファイアの裂開面である（1-102）面のR面は極めて割りやすいため、通常に基板として用いられる250〜350μmの厚さでも容易に裂開ができる。しかし、サファイアA面上に成長したGa<sub>2</sub>Nの（1-100）面と、このサファイアR面とは互いに2.4度ずれている。この様子を図2に示す。なお、図では2.4度の角度を誇張して表現しており、以下の図でも同様である。このため、Ga<sub>2</sub>Nの破断面には図3に示すような筋が現れる。これはC面上の場合に関し前述したのと同様に、Ga<sub>2</sub>Nの（1-100）面が階段状に現れているのである。サファイアのR面は安定に裂開されるため、図3に示すようなGa<sub>2</sub>N破断面が安定に得られることとなる。従って、A面上の場合は、安定ではあるが、品質がそれほど良くない。

【0024】図4は実施例の3族窒化物半導体レーザを示す。この半導体レーザ素子は、単結晶サファイア基板101上に順に積層された、低温成膜されたGa<sub>2</sub>N（又はAlN）層102、n型Ga<sub>2</sub>N層103、n型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N層104、n型Ga<sub>2</sub>N層105、InGa<sub>2</sub>Nを主たる構成要素とする活性層106、p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N層107、p型Ga<sub>2</sub>N層108、p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N層109、及びp型Ga<sub>2</sub>N層110からなり、n側電極114並びにp側電極113及び115はn型Ga<sub>2</sub>N層103並びにp型Ga<sub>2</sub>N層110に接続されている。p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N層109にはリッジストライプ部118が形成されており、素子は電極を除きSiO<sub>2</sub>の絶縁膜111で被覆保護されている。

【0025】実施例の3族窒化物半導体レーザは、積層した結晶層102〜110の共振用劈開面と交差する部分のサファイア基板101及び該結晶層間の界面におい

て、窒化物半導体の分解物領域150を有する。レーザ照射によって形成される窒化物半導体の分解物領域150ではサファイア基板とGa<sub>2</sub>N結晶間の結晶結合を局所的に破壊されているので、素子の共振面形成工程において、反射鏡近傍部分のGa<sub>2</sub>NがGa<sub>2</sub>N結晶の劈開面そのものに沿って割れるようになる。レーザ光ビームの波長は、サファイア基板を透過しかつ界面に接するGa<sub>2</sub>N結晶層に吸収される波長から選択されるので、結晶欠陥が多く存在するGa<sub>2</sub>N側にて、吸収した光はほとんどが熱に転換される。サファイア基板近傍の結晶層のレーザ照射領域の温度が急激に上昇し、Ga<sub>2</sub>Nはガリウムと窒素に分解している。

【0026】この半導体レーザ素子では、活性層106において電子と正孔を再結合させることによって発光する。n型Ga<sub>2</sub>N層105及びp型Ga<sub>2</sub>N層108はガイド層であり、活性層106で発生した光をここに導波するとともに活性層106よりバンドギャップが大きく設定することによって電子及び正孔を活性層106内に効果的に閉じ込めるようになっている。p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N層107は注入されたキャリア（特に電子）の閉じ込めを更に強化する障壁層であり、n型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N層104及びp型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N層109はガイド層105、108より低屈折率で作製されているクラッド層であり、ガイド層との屈折率差によって膜厚方向の導波が行なわれる。リッジストライプ部118はクラッド層109の厚さを変化させることで実効屈折率に横方向の段差を生じさせて、発生した光を横方向に閉じ込めるために設けてある。

【0027】n型Ga<sub>2</sub>N層103は電流の流路として設けられている下地層であり、基板であるサファイアに全く導電性がないために設けられている。また、低温成長層のGa<sub>2</sub>N（又はAlN）層102はいわゆるバッファ層であり、Ga<sub>2</sub>Nにとっての異種物質であるサファイア基板上に平滑膜を作製するために形成されている。図4に示した素子構造は、両面が鏡面研磨されたサファイアA面基板上にレーザ素子用の層構造を有機金属化学気相成長法（MOCVD）により成膜する以下の作製工程にて製造される。

【0028】まず、サファイア基板101を成膜用MOCVD成長炉に装填し、1050℃の温度において300 Torrの圧力の水素気流中で10分間保持し、サファイア基板101の表面の熱クリーニングを行なう。この後、サファイア基板101をその温度が600℃になるまで降温し、窒素原料であるアンモニア（NH<sub>3</sub>）と、Al原料であるTMA（トリメチルアルミニウム）を成長炉内に導入し、AlNからなるバッファ層102を20nmの厚さに堆積させる。

【0029】続いてTMAの供給を止め、NH<sub>3</sub>のみを流したまま、バッファ層102が成膜されたサファイア基板101の温度を再び1050℃に昇温し、トリメチ

ルガリウム (TMG) を導入して n 型 GaN 下地層 103 を積層する。この時、n 型不純物である Si の原料として Me-SiH<sub>3</sub> (メチルシラン) を成長雰囲気ガスに添加する。

【0030】 n 型 GaN 下地層 103 が 4 μm 程度成長したところで、TMA を導入して n 型 AlGaIn クラッド層 104 の成膜を行なう。n 型 AlGaIn クラッド層 104 が 0.5 μm 程度成長したところで TMA の供給を停止し、n 型 GaN ガイド層 105 を 0.1 μm 成長する。n 型 GaN ガイド層 105 の成長が完了したところで TMG、Me-SiH<sub>3</sub> の供給を停止して降温を開始し、基板温度を 750℃ とする。基板温度が 750℃ となった時点でキャリアガスを水素から窒素に切り換え、ガス流の状態が安定したところで TMG、TM<sub>1</sub>、Me-SiH<sub>3</sub> を導入して活性層 106 の成長を行なう。該活性層を成膜したところで TMG、TM<sub>1</sub>、Me-SiH<sub>3</sub> の供給を停止すると共に、キャリアガスを窒素から水素に切り換え、ガス流の状態が安定したところで基板温度を再び 1050℃ に昇温し、TMG、TMA と p 型不純物である Mg の原料として Et-Cp<sub>2</sub>Mg (エチルシクロペンタジエニルマグネシウム) を導入して p 型 AlGaIn 層 107 を 0.01 μm 積層する。続いて TMA の供給を停止し、p 型 GaN ガイド層 108 を 0.1 μm 成長し、再び TMA を導入して p 型 AlGaIn クラッド層 109 を 0.5 μm 成長する。更にこの上に p 型 GaN コンタクト層 110 を 0.1 μm 成長させる。その後、TMG 及び Et-Cp<sub>2</sub>Mg の供給を停止し、降温を開始し、基板温度が 400℃ になった時点で、NH<sub>3</sub> の供給も停止し、基板温度が室温になった時点で反応炉より取り出す。

【0031】 得られたウエハを、熱処理炉に装填し、p 型化のために熱処理を行なう。こうして p 型化されたウエハ上に、p 側電極として、真空蒸着法により Ni (ニッケル) 膜 115 を 200 nm 成膜する。得られたウエハに対し、p 側電極用テラスと n 側電極用の電流経路構造並びに p 側電極用テラス上に電流狭窄用の屈折率導波路構造としてリッジ構造の導波路を形成する。

【0032】 n 側電極のための電流経路を形成するために、ウェットエッチングにより Ni 膜の一部を部分的に除去し、図 5 に示すように、残っている Ni 膜 115 をマスクとして、Cl<sub>2</sub> (塩素) ガスによる反応性イオンエッチング (RIE) によって、露出している窒化物半導体層をエッチングする。この時、図 6 に示すように、n 型クラッド層 104 を若干残す深さまでエッチングを行ない凹部 201 を形成する。

【0033】 次に、図 7 に示すように、Ni 膜を幅 5 μm を残して、ウェットエッチングにより除去し、5 μm 幅の Ni 膜のストライプ 115 を形成する。ここで、図 8 に示すように、こうした Ni のストライプ 115 の伸長方向をサファイア R 面と垂直な方向から 2.4 度ずら

すとともに、n 側電極形成用の凹部 201 などこれに合わせて 2.4 度傾けて形成する。すなわち、形成すべき窒化物半導体の劈開面となる (1-100) 面の法線方向に沿って伸長する導波路を形成するのである。

【0034】 次に、反応性イオンエッチング (RIE) を用いて Ni のストライプ 115 をマスクとして用いて、5 μm 幅のストライプ部直下以外の部分、すなわちコンタクト層 110 及び p 型 AlGaIn クラッド層 9 を、クラッド層 9 の約 0.1 μm 残して除去し、図 9 に示すように、狭リッジ構造 118 を形成する。この時、同時に、残りの n 型クラッド層 104 が除去され、部分的に n 型 GaN 下地膜 103 が露出する。

【0035】 この状態になったウエハ上に SiO<sub>2</sub> 保護膜をスパッタリング等の方法によって堆積する。その後、通常のリソグラフィ法によって SiO<sub>2</sub> 保護膜に p 型リッジ部に 3 μm 幅の窓部、及び n 側電極用窓部を形成する。n 型 GaN 層 103 が露出している部分に、Ti (チタン) を 50 nm、続いて Al を 200 nm 蒸着し、n 側電極 114 を形成する。p 型 GaN 層が露出している部分には、Ni を 50 nm、Au を 200 nm 蒸着して p 側電極 113 を形成する。このようにして、ウエハ上の個々の素子部分においては、図 10 に示すような素子構造が形成される。

【0036】 以上の素子構造形成工程の後に窒化物半導体の分解物領域を形成する工程を行う。図 10 に示すように、サファイア基板 101 の裏面側から波長 248 nm、266 nm の短波長レーザ光 (例えば KrF エキシマ・レーザ、YAG の 4 倍波など) を照射し、サファイア/GaN 界面を分解する。分解物領域の形成時、照射するレーザ光の光路中にホモジナイザを設け、当該界面のレーザ光照射領域内の光強度を均一にすることが望ましい。また、照射光がサファイア/GaN 界面に焦点を結ぶように調整し、図 11 の斜線で示した照射領域 151 を照射する。この照射領域 151 は窒化物半導体レーザの素子長などの作製ピッチで反復形成する。照射光のエネルギー密度は 1 パルス当たり数 100 mJ/cm<sup>2</sup> 程度が好ましく、これより大幅に大きいと素子構造が破壊され、これより小さいと界面が十分分解されず、十分な効果が得られない。このようにレーザ照射によって窒化物半導体の分解物領域 150 を形成する。

【0037】 分解物形成工程の次に、スクライビング工程を続けて行う。レーザ照射位置を、図 12 中の a で示すような分解物領域 150 を交差する直線上の位置、好ましくは該直線上のウエハの辺縁近傍の位置へ移動し、照射光の焦点位置をサファイア/GaN 界面からサファイア基板 101 の積層した面とは逆の表面に調整する。この時、図 12 中の b で示すレーザ照射領域の幅を数 μm 程度に狭めて設定する。また、照射レーザ光のエネルギー密度をサファイア/GaN 界面分解時の 20 倍以上に設定する。このような設定でレーザ光照射を行なう

と、サファイアが前述の波長に対してわずかに吸収を有しているため、狭小の照射領域のサファイアを熱により蒸発させることができ、サファイア基板101の積層した面とは逆の表面に微細な溝Gを形成することができ、図12中でcで示した方向にレーザ光ビーム（あるいは基板支持台）を移動し、前記溝部Gを所定の深さ及び長さで形成する。このレーザでのスクライビング（いわゆるケガキ）作業を、窒化物半導体レーザの素子長のピッチに合せ反復して行う。

【0038】しかる後に、上記溝部Gを起点として図12中の1点鎖線で示す方向にサファイア基板の裂開を行い、積層した結晶層の共振用劈開面が現れたレーザ・バーを得る。本発明の場合、レーザ照射による溝入れをウェハの辺縁近傍のみに行うので、劈開の品質を良くするために、基板の厚さを100 $\mu$ m程度に減じておくことが望ましい。

【0039】さらに、本発明では、サファイア及びGa N界面を熱により分解するものであるので、照射による分解領域はできるだけ小さいことが望ましい。一方、このことは、劈開のためのスクライプの位置精度に高いものが要求されることを意味する。一般的に、ダイヤモンド・ポイントでスクライプを行う場合では、分解物形成工程のレーザ照射位置と次のスクライビング工程のダイヤモンドポイントスクライプ装置とは別途に位置設定がなされるため、両者工程の間で、高度で煩雑な位置合わせ作業が必要となる。本発明のスクライビング方法によれば、照射とスクライプを行う装置が同一のものであるので、ウェハの再位置合わせは不要となる。

【0040】また、通常のスクライプ装置のように、ダイヤモンドのポイントを用いてサファイアのような高硬度材をスクライプするとポイントの摩耗が深刻なものとなるが、本発明の場合は、レーザ光の収束光を用い全く非接触で溝入れを行うため、劈開性を左右する溝底の曲率として $\mu$ m台の溝底が容易に得られる上、その安定性も維持しやすいという利点を有している。

【0041】作製されたレーザ・バーの破断面（劈開面）に対し、スパッタ装置を用いて誘電体多層反射膜を形成する。レーザ・バーをさらに素子ごとに割って2次劈開によりチップ化し、図4に示す素子が得られ、以下、従来からのレーザ素子と同様、サブマウントへのダイボンディングを施し、ステムへ取付け、ワイヤボンディングをなして、さらに所定工程を経てレーザ素子が完成する。

【0042】前述したように、サファイア基板A面上にレーザ構造を形成し、レーザ照射を行わないでサファイアのR面で裂開した場合、Ga Nの表面には図3に示すような細かな筋が入る。この理由は以下の通りである。サファイアはR面で割れ、ウェハの全厚の大部分はサファイアであるため、ウェハはサファイアのR面に沿って割れていく。前述したようにサファイアのR面とGa N

の(1-100)面とは2.4度傾いているが、割れ（クラック）がサファイア/Ga N界面に到達した後、わずかな深さまでは下地のサファイアのR面に沿ってクラックは伝搬する。しかしながら、Ga Nはその劈開面である(1-100)面で割れようとするため、複数の(1-100)面が階段状になった破断面を形成することとなる。

【0043】本発明の場合、短波長高出力レーザによって照射を行なう工程が付加されているが、照射に用いるレーザの波長である248nmにおいて基板のサファイアがほとんど透明であるのに対して、Ga Nの吸収端は365nmであるため、わずかな浸透深さで吸収される。また、基板であるサファイアとGa N間に存在する大きな格子不整合(15%)のため、界面近傍のGa Nには極めて結晶欠陥が多く存在するため、吸収した光はほとんどが熱に転換される。Ga Nのサファイア基板近傍の領域の温度が急激に上昇し、Ga Nはガリウムと窒素に分解してしまう。従って、この部分については下地のサファイア結晶とGa Nは直接の結晶間の結合がなくなっている。

【0044】この本発明の状況で、サファイア基板をR面に沿って裂開した場合を以下に詳述する。図13のように、裂開がR面に沿って伝搬してきたクラックが、レーザ照射によって形成された窒化物半導体の分解物領域150に到達すると（矢印a）、ここからは下地サファイアとGa Nが直接結合されていないため、Ga Nはその本来の劈開面である(1-100)面に沿って割れることが可能になる。従って、Ga N中を伝搬してきた部分のクラックはGa Nの(1-100)面に沿って伝搬する（矢印b）。また、サファイア基板内を伝搬するクラックはそのままR面に沿って伝搬していく（矢印c）。クラックが分解物領域150の縁まで来ると、ここからはGa Nとサファイアが一体となっているので、再びGa N破断面が階段状になった状態に移行する。このようにサファイアの裂開面とGa Nの劈開面とが分岐する。分岐した劈開面の長さ、すなわちレーザ照射長さをリッジストライプ幅以上に設定しておけば、きわめて平滑な共振反射鏡面が得られる。

【0045】以上から明らかなように、サファイア基板のR面とレーザ素子の端面には2.4度の傾きが生ずるが、リッジ、電極の形成時にこの角度分だけ傾けてあり、導波路はGa Nの劈開面である(1-100)面と垂直になるため、問題を生じない。上記実施例では、サファイアA面基板上にレーザ構造を形成した素子を説明したが、さらに、第2の実施例では、サファイア基板C面上に上記したリッジ型レーザ構造を形成した素子を形成することもできる。

【0046】図14に、第1の実施例と同様の工程で作製したサファイアC面基板101cを用いた素子の裂開面近傍の斜視図を示す。サファイア基板101cを(1



−100)面で割ると、その上のGa<sub>0.5</sub>Nとしては本来の劈開面(1-100)でない(11-20)面で割ることになるが、Ga<sub>0.5</sub>N結晶の対称性のため、正確に(11-20)面に沿った方向に割れが入っていけば、極めて良好な破断面が得られる。しかしながら、スクライブ線の方向が厳密に(1-100)面に沿っていない限り、サファイアの破断面は階段状になり、サファイア上のGa<sub>0.5</sub>Nの破断面もまた階段状になってしまう。

【0047】図14のように、ほぼ(1-100)面に沿って伝搬してきたクラックが、窒化物半導体の分解物領域150に到達すると(矢印a)、ここからは下地サファイアとGa<sub>0.5</sub>Nが直接結合されていないため、Ga<sub>0.5</sub>Nはその(11-20)面に沿って割れることが可能になり、Ga<sub>0.5</sub>N中を伝搬してきた部分のクラックはGa<sub>0.5</sub>Nの(11-20)面に沿って伝搬する(矢印b)。また、分解物領域150を通過すると、ここからはGa<sub>0.5</sub>Nとサファイアが一体となっているので、Ga<sub>0.5</sub>N破断面が階段状になる(矢印c)。このように、すなわちレーザ照射長さをリッジストライプ幅以上に設定して分解物領域150を形成するので、レーザ構造の端面にきわめて平滑な共振反射鏡面が得られる。

【0048】

【発明の効果】本発明によれば、全体としてはサファイアの特定の面に沿って裂開しながらも、レーザ素子として最も大切な部分の一つである反射面部分はその構成半導体材料である窒化物半導体の劈開面そのもので形成するようにしたので、原子レベルで平坦な反射鏡面が得られる。

【0049】更に、サファイア基板の厚さを大きく減ずること無く割ることが可能であるため、裏面研磨時のウエハ破損といったトラブルも無く、また素子の厚さ寸法が大きいままなので、取り扱いが容易である特徴を持っており、量産性に極めて優れている。

【図面の簡単な説明】

【図1】 3族窒化物半導体レーザ素子の概略断面図。

【図2】 サファイア基板上に成膜されたGa<sub>0.5</sub>N結晶層の格子面を示す概略斜視図。

【図3】 サファイア基板上に成膜されたGa<sub>0.5</sub>N結晶層\*

\*の破断面を示す概略斜視図。

【図4】 本発明による実施例の半導体レーザの製造工程におけるレーザ基板の概略断面図。

【図5】 本発明による実施例の半導体レーザの製造工程におけるレーザ基板の概略断面図。

【図6】 本発明による実施例の半導体レーザの製造工程におけるレーザ基板の概略断面図。

【図7】 本発明による実施例の半導体レーザの製造工程におけるレーザ基板の概略断面図。

10 【図8】 本発明による他の実施例の半導体レーザの製造工程におけるレーザ基板の概略断面図。

【図9】 本発明による他の実施例の半導体レーザの製造工程におけるレーザ基板の概略断面図。

【図10】 本発明による実施例の半導体レーザの製造工程におけるレーザ基板の概略断面図。

【図11】 本発明による他の実施例の半導体レーザの製造工程におけるレーザ基板の概略断面図。

【図12】 本発明による他の実施例の半導体レーザの製造工程におけるレーザ基板の概略断面図。

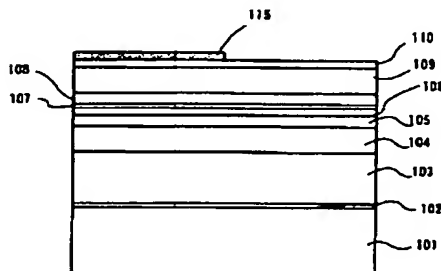
20 【図13】 サファイアA面基板上に成膜されたGa<sub>0.5</sub>N結晶層の破断面を示す概略斜視図。

【図14】 サファイアC面基板上に成膜されたGa<sub>0.5</sub>N結晶層の破断面を示す概略斜視図。

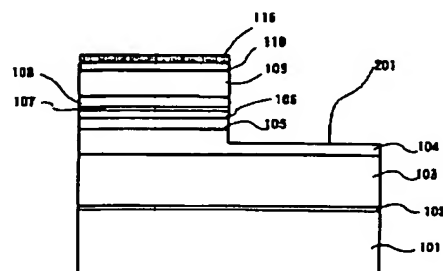
【符号の説明】

- 101 単結晶サファイア基板
- 102 低温成膜Ga<sub>0.5</sub>N(又はAl<sub>0.5</sub>N)層
- 103 n型Ga<sub>0.5</sub>N層
- 104 n型Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>N層
- 105 n型Ga<sub>0.5</sub>N層
- 106 InGa<sub>0.5</sub>N活性層
- 107 p型Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>N層
- 108 p型Ga<sub>0.5</sub>N層
- 109 p型Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>N層
- 110 p型Ga<sub>0.5</sub>N層
- 114 n側電極
- 113, 115 p側電極
- 111 SiO<sub>2</sub>絶縁膜

【図5】

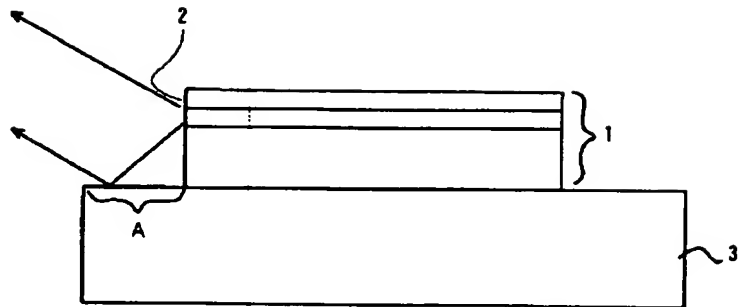


【図6】

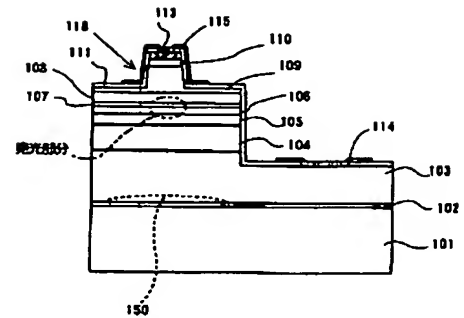




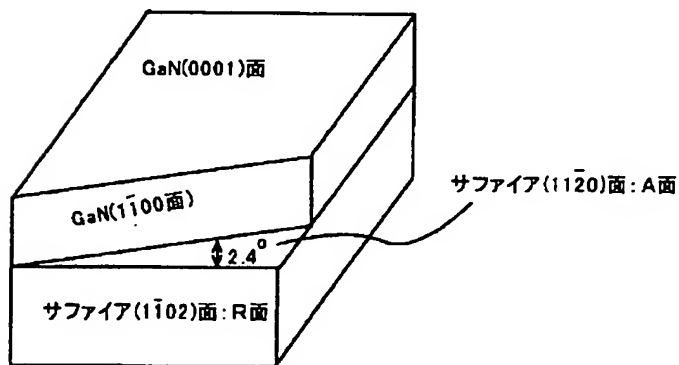
【図1】



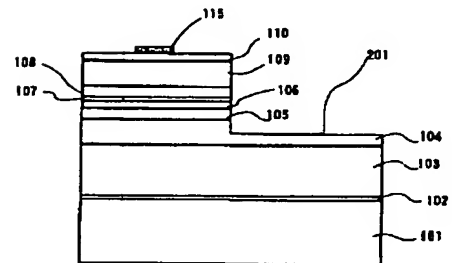
【図4】



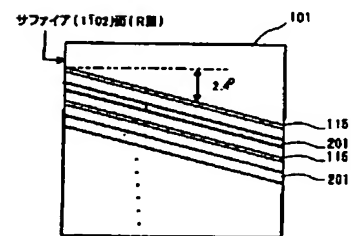
【図2】



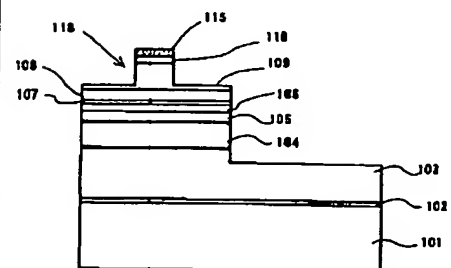
【図7】



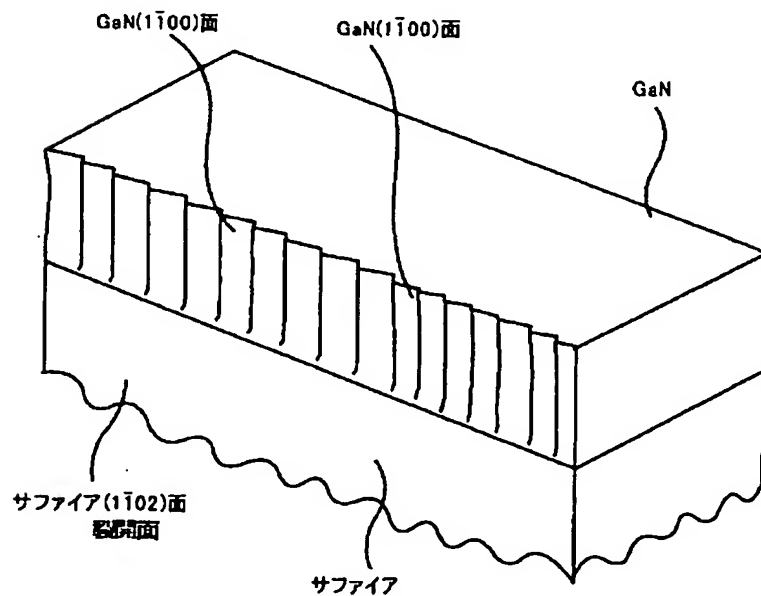
【図8】



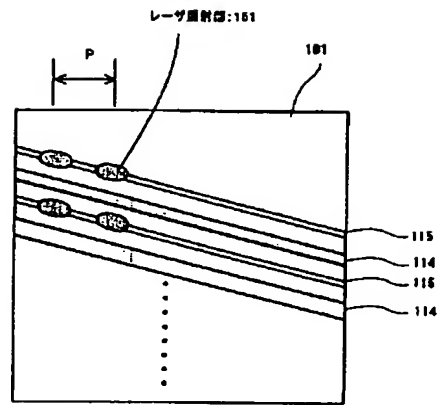
【図9】



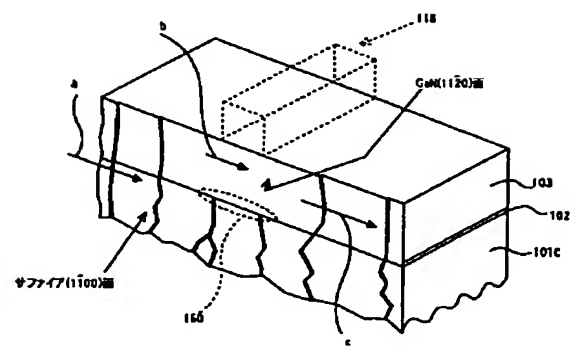
【図3】



【圖 11】



【图 14】



【図13】

